

## 지능형 고정밀 온간단조 기술

이준용\* · 배명한\* · 정순철\* · 서성렬\* · 이영선\*\* · 이정환\*\*

### Intelligent High-Precision Warm Forging Process

J. Y. Lee, M. H. Bae, S. C Jeong, S. Y. Seo, Y. S. Lee and J. H. Lee

#### Abstract

This paper describes the basic structure of high-precision warm forging process for ball joint socket. If this research is successfully finished, We expect that productivity improvement, reduction of material cost and machining process, and cost down than conventional warm forging process.

**Key Words** : Intelligent Precision Warm Forging, Ball Joint Socket, Net-shape, Quick Die Change System, IMS

#### 1. 서론

자동차 산업의 발전과 더불어 산업기술이 고도로 발전하면서 성형 및 가공기술이 상당한 수준에 이르고 있다. 특히 대량 생산 체계의 확보의 필요성에 따른 단조 공정의 자동화와 원가절감 및 품질 균일성의 유지를 위한 정밀 단조 성형기술 개발은 이제 더 이상 선진국이나 일부 대기업의 과제가 아니며 국제적인 무한 경쟁의 시대를 살아가는 기업으로서 반드시 확보해야할 부품 제조의 핵

심 기술의 하나이다. 본 과제의 기술 개발 대상품인 자동차 Ball Joint Socket은 그림 1. 볼조인트 조립단면 및 3D Model과 같으며 상대 Arm과 함께 연결되는 Ball Stud와 조립되어 자동차의 조향 및 현가 역할을 하는 없어서는 안될 중요 부품이다.

상기의 그림에서 볼 수 있듯이 Ball Joint Socket의 형상은 3차원의 비대칭적이고 복잡한 형상을 하고 있다. 이러한 형상의 불리함은 Ball Joint Socket의 정밀 온간 단조 성형 공법의 적용을 저해하는 가장 큰 원인이며 기존의 열간 단조의 성형 공정에서 대량 생산을 위한 자동화 적용의 한계, 단조수율70~75%에 따른 제조원가 상승의 부담, 품질 균일성의 유지를 위한 후공정의 과도한 절삭 가공 공정 투입으로 이어지고 있다. 본 연구에서는 기존의 열간 단조 공정을 고정밀 성형이 가능한 온간 단조 공정으로 개발 적용하여 원소재 투입대비 단조 수율을 90%이상 확보하고, Net-shape의 실현으로 절삭 가공 공정을 최소화하여 가공시간 단축 및 재료의 손실을 최

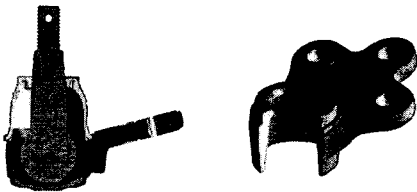


그림 1. 볼조인트 조립 단면 및 3D Model

\* (주) 센트랄  
\*\* 한국기계연구원

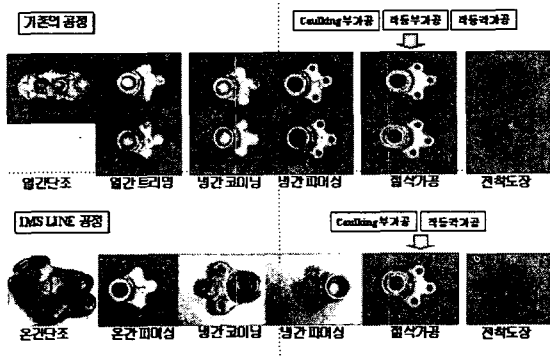
소화하고, 고정밀 성형이 가능한 지능형 고정밀 성형기 개발을 통한 자동화 및 대량 생산체계의 구축함으로써 원가절감과 제품의 고품질화에 따른 국가 경쟁력 확보를 목표로 한다.

## 2. 대상 제조공정의 분석

### 2.1 기존 Ball Joint Socket 제조공정과의 비교

Ball Joint Socket의 종래의 제조방법은 열간 단조에 의해 소재를 성형하고 이 단조 소재를 몇 차례에 걸친 절삭 가공으로 얻고자 하는 최종적인 제품의 형상을 만들어 내는 것이다.

자세한 공정의 구성에 대해서는 그림 2. 현재의 공정과 IMS 공정의 비교를 참조할 수 있는데 가장 큰 특징은 후공정인 절삭 가공 공정의 축소이다. 기존에는 Caulking부 가공 2공정, 작동부 가공 3공정, 작동각 가공 1공정으로 모두 여섯 공정에 걸쳐 가공하고 있는데 개선된 IMS 공정에서는 Caulking부 가공 1공정, 작동각 가공 1공정으로 두 공정의 가공으로 이는 단조 공정에서 정밀 온간 단조 공정의 적용에 따른 Net-shape의 실현으로 가능하다.



	열간 단조품 (기존공정)	온간 성형품 (IMS공정)
수율 비교	▷절단중량 : 630g	▷절단중량 : 500g
	▷단조중량 : 480g	▷단조중량 : 450g
	▷단조수율 : 76%	▷단조수율 : 90%
가공 공정 비교	▷가공 6공정(NC3대)	▷가공 2공정(NC2대)
Cycle Time	▷48초	▷28초

그림 2. 기존 공정과 IMS 공정의 비교

### 2.2 고정밀 온간 단조 성형 기술 개발

냉간과 열간의 중간온도에서 성형하는 온간단조는 단조품의 정형 제조를 위한 공정으로 냉간단조와 비교하여 성형하중과 에너지의 경감, 인산염 피막의 생략, 소재의 변형저항 감소로 인한 변형능의 향상으로 복잡한 형상도 성형이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 열간단조와 비교하여서는 우수한 치수 정도를 얻을 수 있으며 이로 인한 단조수율의 향상과 후공정의 절삭가공 공정수와 절삭량을 현저히 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이런 장점들을 극대화 할 수 있기 위해서는 소재온도와 중량의 관리는 필수적이다. Ball Joint Socket의 온간 정밀 단조의 제조방법에서는 기존의 열간단조와는 달리 점진적으로 성형이 이루어질 수 있는 다단계 성형공정의 설계가 필요한데 공정의 구성은 그림 3. 온간정밀 단조의 공정구성과 같다.

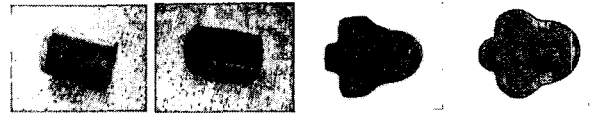


그림 3. 온간 정밀 단조의 공정구성

먼저 결합이 없는 유동 체적의 분배가 최적화된 공정의 형상을 얻기 위하여 3-D Deform을 이용하여 Up-setting 공정과 Extrusion 공정에 대한 해석을 진행하였는데 해석 결과는 그림 4. Up-setting 공정과 Extrusion 공정에 대한 성형해석 결과에서 알 수 있다.

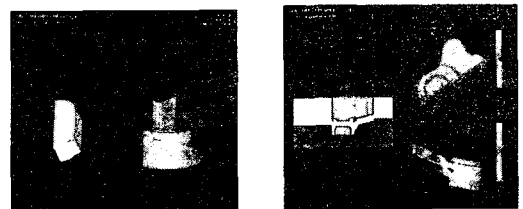


그림 4. Up-setting 공정과 Extrusion공정에 대한 성형 해석 결과

첫 번째 공정인 Up-setting 공정부터 살펴보면 원통의 Billet 소재로부터 Ball Joint Socket의 부위별 체적분포가 고려된 유동 체적의 분배를 얻기 위한 Pre-form공정인데 이 공정에서의 성형 형상에 따라 그 다음 공정에서의 성형하중과 국부적인 과도한 체적 분포로 인한 Burr 발생 여부가 결정되어지는 공정이다. 따라서 공정은 밀폐형 구조를 가져왔고, 성형 하중은 200톤이며 최적화된 체적은 61.614 mm<sup>3</sup>, 성형 스트로크는 단조품 두께 기준으로 21.86mm의 결과를 얻었다.

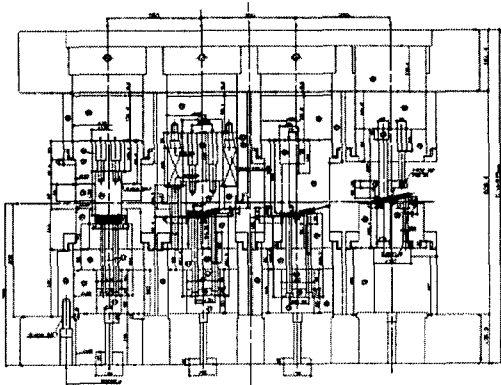


그림 5. 온간 정밀 단조용 Die-set과 금형 구조도

Up-setting 공정에서 획득한 체적 분포를 가지고 원하는 제품의 대부분의 성형을 진행하는 Extrusion 공정은 얻어진 단조품의 형상에서 알 수 있듯이 제품의 정도를 결정할 뿐만 아니라 금형 수명과 양산성 확보라는 온간 단조 공정의 목표를 적절히 수행할 수 있는 공정 설계가 요구되어진다. 따라서 Spring 폐쇄 구조의 단조 공정 설계를 진행하였는데 기존의 폐쇄단조와는 달리 Spring을 이용하여 폐쇄력을 발생시킴으로 복잡한 구조의 폐쇄장치와 가압장치가 필요하지 않고 금형의 수명 향상과 품질의 균일성 유지에 많은 이점이 있다. 해석을 통해 얻어진 폐쇄력은 약 7톤으로 이를 위하여 그림 5. Spring 폐쇄 금형의 동작설명에서 알 수 있듯이 길이 150인 TD40 Spring 11개를 사용하여 폐쇄력을 얻었다.

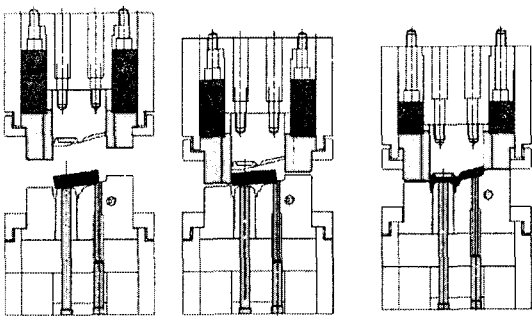


그림 6. Spring 폐쇄 금형의 동작 설명

### 3. 고정밀 온간 단조 성형 라인의 구축

그림 7은 고정밀 성형 기술 및 성형 시스템 개발을 위해 현장에 적용된 고정밀 성형 시스템 구성도이다. 구성은 크

게 예비가열장치, Graphite Coating 장치, 본가열장치, 고정밀 온간 성형기, 3차원 소재 자동이송 시스템, Quick Die Change System 등으로 구성되어진다.

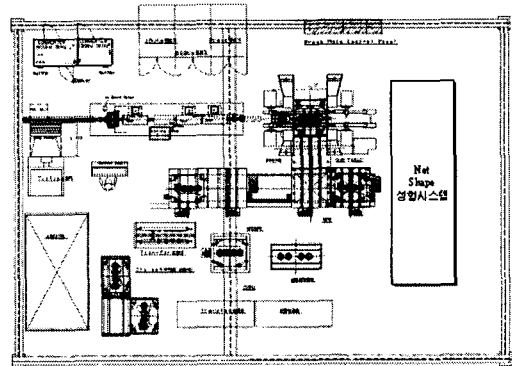


그림 7. 고정밀 성형시스템 라인 구성도

#### 3.1 가열 및 Graphite Coating 장치

온간 단조용 소재 가열장치로는 단조 재료에 대하여 에너지 투입 속도가 빠르고 급속 가열이 가능하며 표면의 산화 및 탈탄이 적기 때문에 유도가열로(Induction Heater)를 많이 사용된다. 유도 가열의 경우 자기 변태점을 경계로 해서 사용 주파수를 저주파에서 고주파로 변화하여야 한다. 유도 가열은 주파수에 따라 전류 침투 깊이를 제어함으로써 피가열 물체의 중심부의 근처까지 균일하게 가열할 수도 있고 중심부 가장자리의 표면만 가열을 할 수도 있다. 소재 유도가열장치는 유도가열에 필요한 고주파 전원을 발생시키기 위하여 입력된 교류 상용전원을 (50/60Hz) Converter에 의하여 직류전원으로 변환시키고 그 출력을 Inverter에 공급하여 다시 교류전원으로 역변환하는 전원 공급 장치부와 발생된 전력을 피가열 물체에 공급하기 위한 Heating Coil로 구성되어 있다. 먼저 예비 가열장치를 살펴보면 단조 공정에서 금형과 소재가 접촉시 성형 하중에 의한 Scale을 발생시키게 된다. 이 Scale의 발생을 억제하고 유동 체적의 흐름을 원활하게 하기 위해 소재 표면에 Graphite로 (흑연계 윤활액) 윤활막을 형성시키는데 이 윤활막을 고착화 상태로 만들어 주기 위하여 가열해 주는 장치이며 본 라인에서는 180℃의 온도로 소재를 가열해 주고 있으며 온도 허용 오차는 ±7℃이다. 예비 가열장치에서 가열된 소재는 앞서 언급한 바와 마찬가지로 Graphite Coating장치로 공급되어져 Spray 분사방식으로 Coating되어지는데 이미 가열되어진 180℃의 온도에 의해 소재의 표면에 고착화 되어진다. 이 Graphite 윤활막은 성형시 금형 온도의 상승을 억제하여 금형 열화 현상을 방지할 수

이므로 금형의 수명을 향상시킨다. Graphite Coating액의 온도 상승을 억제하기 위한 냉각장치와 Graphite Coating액의 농도를 일정하게 유지할 수 있는 장치 또한 단조품의 품질을 유지하는데 중요한 요소이므로 고려되어야 한다. Graphite Coating 되어진 소재는 본가열장치로 공급되어져 850℃의 온도로 가열되어지는데 600Kw의 고주파 유도가열기를 사용하고 있고 온도 허용오차는 ±7℃이다.

< 가열 및 Graphite Coating 장치 사양 >

- Step Feeder : 30 min/charge, 직립소재 제거, 이형 소재 검출
- Flat Feeder : AC Geard Motor
- Working Feeder : 1 Step Feeding (4sec), Servo Motor
- 예비 가열 장치 : 100 Kw, 3 KHz, 150 ℃~180 ℃, 온도제어 오차 ±7 ℃
- Graphite Coating System : Pump, Chamber, Control
- 본 가열 장치 : 600 Kw, 2~4 KHz, 800 ℃~900 ℃ 온도제어 오차 ±7 ℃
- Pyro-meter : 800℃~900℃, PV180℃, 4~20 mA
- Network Protocol : TCP/IP

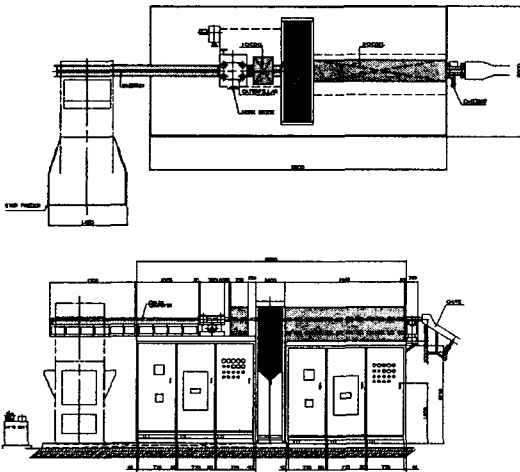


그림 8. 유회코팅 시스템 구성도 (예비가열, 코팅, 본가열)

3.2. 고정밀 온간 성형기

온간 단조형 성형기계 및 장치의 구동방식은 크게 기계식과 유압식으로 분류되지만 시간(Timing), 행정(Stroke) 및 가압력의 3요소가 효율적으로 작용되어야 결합이 발생하지 않는 원활한 재료 유동을 얻을 수 있다. 그러나,

금형 수명에 대해서는 Slide Motion이 빠른 쪽이 좋다. 금형과 가열 소재와의 접촉 시간이 짧은 만큼 금형 표면의 열이동이 적게되고, 성형하중이 약간 증가함에도 불구하고 금형의 마모가 적기 때문이다. 이것은 종래의 열간 단조에서 해머 금형과 프레스 금형에서 금형 수명의 현저한 차이에 있어서도 명확하다. 따라서, 온간 단조의 경우에도 단조온도가 높은 만큼 금형 수명은 나빠지는 경향이 있다고 생각할 수 있다. 설비적 측면에서 요구되어지는 사양은 온간 단조 공정의 치수 정도에 적합한 설비 정밀도를 갖추는 일이다. 이를 위한 Hardware 개발로 고정밀 가이드 시스템, 클러치&브레이크 시스템, 고정밀 Main Shaft, Knock out 구동시스템 등의 연구를 수행하고 각 목표 정도를 실현하였다. 또한 공정 자동화와 연계된 주변 장치들과의 Interface의 실현을 위해 소재 가열 및 코팅장치, 3차원 소재 자동 이송 시스템, QDC System, 금형냉각 System 등과의 설비상 태, 실시간 생산수량 관리, 공정간 재고 수량 관리, 설비 이상 이력 관리 등을 위한 중앙 모니터링 시스템에 대한 연구를 진행하고 있으며 이를 위한 Network Protocol로는 TCP/IP Protocol을 채택하고 있다.

< 고정밀 온간 성형기 사양 >

- Nominal Press Force : 1600 Ton
- Power Of Main Motor : 75 Kw
- Station Number : 4 Station
- Die Height : 910 mm
- Stroke Per Minute : 60~70 SPM
- Wedge Adjustment System : 12 mm, 4~20 mA
- Network Protocol : TCP/IP

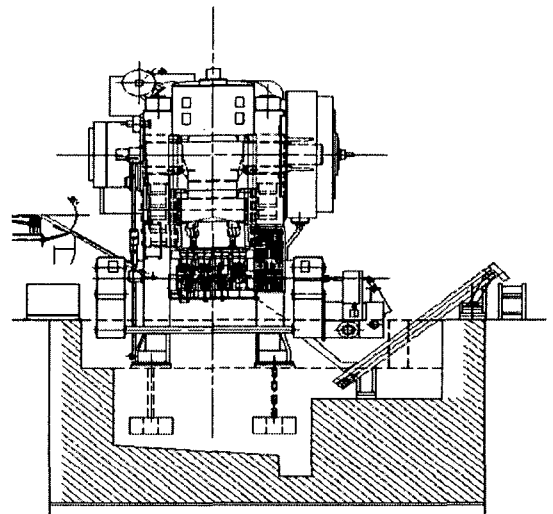


그림 9. 고정밀 온간 성형기 구성도

### 3.3 3차원 소재 자동이송 시스템

최근 단조 가공의 자동화와 황형 다단 트랜스퍼 프레스 등의 보급으로 인하여 단조 공정에서의 온도 균일화가 달성되고 있으며, 이것이 종래의 온간 단조의 어려운 요인 중의 하나를 제거할 수 있게 되므로 온간 단조의 보급에 박차를 가하게 되었다. 시장의 요구는 점점 더 다양화되어지고 있으므로 생산방법 또한 두드러지게 소품종 다량생산으로 옮겨가고 있다. 게다가 오늘날에는 고정밀, 고기능에 대한 전통적인 제품 품질의 요구와 생산라인에 있어 더 다양한 유연성과 Multi-functionality에 대한 요구가 있다. 단조산업도 예외는 아니다. 단조공정에서의 자동화와 작업 인원의 축소는 고정밀과 저가격에 대한 요구를 충족시킬 수 있는 필수적인 부분이다. 단조에서 소재 자동 이송 시스템은 Control 시스템과 트랜스퍼의 사양으로 구분되어 지는데 후자는 고 생산성을 보증하는 가장 일반적 것이다. 트랜스퍼의 사양은 프레스로부터 연계된 동작으로 재료를 직접 이송해 주는 직접이송과 그 자신의 독립적인 구동에 의해 소재를 이송하는 독립이송 타입(servo motor drive)이 있다. 본 연구에서는 직접이송방식을 채택하였다. 직접이송방식의 적용은 본 연구에서 개발중인 고정밀 성형기가 열간 및 온간을 복합적으로 수행할 수 있도록 개발하기 때문이다.

#### < 3차원 소재 자동 이송시스템 사양 >

- Feed Stroke : 260mm
- Clamp Stroke : 70mm
- Lift Stroke : 50mm
- Stroke Per Minute : 10 ~ 22 SPM

#### - 소재 및 Clamping 모니터링 시스템

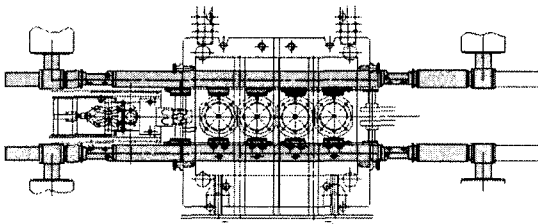


그림10. 3차원 소재자동 이송시스템 구조도

## 4. 결 론

이상과 같이 고정밀 성형시스템에 대한 기본적인 구성에 대하여 간략하게 서술하였다.

본 연구에서 개발중인 성형시스템은 기 개발된 무절삭 CIM 시범플랜트와 연계하여 운영되어질 계획이다. 특히 본 성형기술이 성공적으로 구축되는 2002년에는 CIM 라인과 함께 미국 GM사에 연간 150만개 이상의 볼 조인트를 공급할 수 있게 된다. 본 시스템의 개발이 완료되어지면 생산성 향상과 재료비 및 가공공정의 축소를 향후 4년 내에 25억원 이상의 원가절감의 효과뿐만 아니라 종래의 열간 단조에 비교하여 안정적인 공정으로서의 품질확보라는 효과까지도 기대할 수 있다. 이러한 목표를 달성하기 위한 고정밀 성형 공정의 최적화, 자동화를 위한 공정 기술 개발, 온간 단조 금형 수명 향상을 위한 연구 등은 앞으로도 지속적으로 연구되어야 할 과제이다.

표 1. 제조원가의 비교

구분	년 도	2002년	2003년	2004년	2005년	합 계	
본	생산량 (천개)	1,000	2,000	3,107	3,107	9,714 천개	
	기본공급	1,287 천	1,930,500	2,574,000	3,998,709	3,998,709	12,501,918 천원
제조원가	(NS공급)	1,018 천	1,528,500	2,038,000	3,156,033	3,156,033	9,838,566 천원
	불감액	268 천	402,000	536,000	832,676	832,676	2,600,352 천원

□미국 GM 볼 조인트 연도별 OEM 수송 생산량 기준

## 후 기

본 연구는 선도기술개발(G7)사업인 “첨단 생산 시스템 개발”의 “지능형 고정밀 성형기술 개발”과제로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) S. Sheljaskov, 1994, Journal of Materials Processing Technology, Vol.46, p.3
- (2) 일본단조 기술 연구소 보고서, 1985, “溫間 そく 鍛造の研究”
- (3) 坂口英雄, 1988, 鍛造技報, Vol.34, p. 46
- (4) 吉村 治, 島崎定, 1983, 塑性と加工, Vol.24
- (5) Hirschvogel, 1972, J. Mat. Proc. Tech. Vol.35
- (6) 이영선 등, 2000, “볼 조인트 소켓마디 온간단조 공정설계”, 대한기계학회 '00년도 추계학술대회논문집 p. 110